

TITLE

圧電アクチュエータの駆動方法、圧電アクチュエータの駆動装置、電子時計、電子機器、圧電アクチュエータの駆動装置の制御プログラム及び記憶媒体

5

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. FIELD OF THE INVENTION

本発明は、圧電アクチュエータの駆動方法、圧電アクチュエータの駆動装置、電子時計、電子機器、圧電アクチュエータの駆動装置の制御プログラム及び記憶媒体に関する。

10

2. DESCRIPTION OF RELATED ART

圧電素子は、電気エネルギーから機械エネルギーへの変換効率や、応答性に優れていることから、近年、圧電素子の圧電効果を利用した各種の圧電アクチュエータが開発されている。この圧電アクチュエータは、圧電ブザー、プリンタのインクジェットヘッド、超音波モータ、電子時計、携帯機器等の各種電子機器の分野に応用されている。

これらの分野に応用される圧電アクチュエータは小型化、薄型化が求められており、そのため、薄板矩形状の圧電素子と板状の振動体とを備え、圧電素子に電圧を供給することにより圧電素子を長手方向に伸縮させて縦振動を励振し、当該縦振動によって機械的に屈曲振動を誘発させる圧電アクチュエータが提案されている。

このような圧電アクチュエータでは、振動体に縦振動及び屈曲振動の両者を生じさせることにより、圧電アクチュエータにおいて駆動対象と接触する部位を橢円軌道で移動させる。これにより、この圧電アクチュエータは、小型薄型の構成でありながら、高効率の駆動を実現している。

前述の構成の圧電アクチュエータを駆動する従来技術が特開 2002-291264（段落番号 [0057] ～ [0075]、以下特許文献 1 という）に開示されている。

特許文献 1 は、圧電素子から検出された信号に基づいて振動の位相差を求め、

この位相差が最適な駆動周波数（目標値）になるように圧電素子に供給する駆動信号を1パルスあたり一定量ずつ制御する構成である。ここで、図21で示される通り、特許文献1では、所定範囲の周波数をロック時の駆動信号として採用し、この範囲内の一定値を目標値とし、この目標値の所定範囲FLで位相制御を行う。

- 5 特許文献1では、圧電素子へ供給する駆動信号を制御するものが位相差のみであって、その位相差の制御は容易ではない。

つまり、位相差が目標値に達する高効率駆動状態になるまでの周波数の加減を一定の時間内で行うものであり、その制御量は1パルス当たり（所定時間あたり）一定とされている。

- 10 そのため、所定時間当たりの制御量が大きいと、目標値付近に達した後も周波数の加減が引き続き行われるため、駆動周波数のふらつきが大きくなり、周波数が目標値に収束するまでに時間がかかることになる。

場合によっては、制御値がオーバーシュートしてしまい、目標値と大きく外れた駆動周波数で圧電アクチュエータを制御することにもなる（図21のPx参照）。

逆に、所定時間当たりの制御量が小さいと、電源をオンにしてから目標値付近に達する高効率駆動状態になるまでに時間がかかりすぎ、これに伴って、消費電力も大きなものになる。

- 20 本発明の目的は、高効率駆動状態に達するまでの時間を短縮して消費電力を少なくし、安定した制御を行える圧電アクチュエータの駆動方法、圧電アクチュエータの駆動装置、及びこの圧電アクチュエータを備えた電子時計、電子機器、圧電アクチュエータの駆動装置の制御プログラム、この制御プログラムを記憶した記録媒体を提供することにある。

25

SUMMARY OF THE INVENTION

本発明の圧電アクチュエータの駆動方法は、所定の周波数の駆動信号が圧電素子に与えられることで振動する振動体と、この振動体に設けられるとともに駆動対象に当接される当接部とを備えた圧電アクチュエータの駆動方法であって、前記振動体の振動状態を表す検出信号を検出し、この検出信号及び前記駆動信号に

基づいてまたは前記検出信号に基づいて前記圧電素子へ供給する駆動信号の周波数を制御するとともに、前記圧電素子の検出信号の振幅を検出し、この振幅と振幅基準値とを比較し、この比較結果に基づいて前記駆動信号の周波数を制御する、ことを特徴とする。

- 5 ここで、検出信号または検出信号及び駆動信号に基づいて圧電素子へ供給する駆動信号の周波数を制御するには、例えば、圧電素子を流れる電流値を検出し、電流基準値と比較して駆動信号の周波数を制御したり、複数の検出信号の位相差を位相差基準値と比較して制御したり、検出信号および駆動信号の位相差を位相差基準値と比較して制御するなどの、振動体の振動状態に応じて変化する電流値、
- 10 位相差、振幅等に基づいて駆動信号の周波数を制御すればよい。

この構成の発明では、振動体の振動状態を表す検出信号に基づいて実施、または、検出信号及び駆動信号に基づいて実施する駆動信号の周波数制御に加え、検出信号の振幅に基づく駆動信号の周波数制御を行うという2系統の制御手法が採用される。

- 15 そのため、検出信号や検出信号及び駆動信号に基づく周波数制御の不具合を振幅に基づく周波数制御で補完することになり、高効率駆動状態に達するまでの時間を短縮して消費電力を少なくし、安定した制御を行える。

- ここで、圧電アクチュエータの駆動方法にかかる本発明では、前記駆動信号の周波数の2つの制御のうち、一方の制御は、駆動信号の周波数を増加又は減少する制御であり、他方の制御は、駆動信号の周波数の増加又は減少の変化割合の制御であることを特徴とする。
- 20

- この発明では、圧電素子へ出力する駆動信号の周波数の増減と、その増減の割合とをそれぞれ制御するため、目標値から大きく外れている場合には変化割合を大きくすることで迅速に目標値に近づけて制御を行え、目標値に近づいている場合には変化割合を小さくすることで、大きな変動がない安定した制御を行うことができる。従って、高効率の駆動状態になるまでの時間が短縮され、消費電力も軽減できるとともに、精度が高く安定した制御が行われる。
- 25

ここで、圧電アクチュエータの駆動方法にかかる本発明では、前記検出信号及び前記駆動信号に基づいてまたは前記検出信号に基づいて前記駆動信号の周波数

を増加又は減少し、前記振幅と振幅基準値との比較結果に基づいて前記駆動信号の周波数の増加又は減少の変化割合を制御する構成が好ましい。

この構成の発明では、圧電アクチュエータを起動した直後においては、例えば、位相差が位相差基準値より離れた場合のように、検出信号の値が基準値から離れた
5 場合があるが、この場合には、前記駆動信号の周波数を増加又は減少して位相差を位相差基準値に近づけるようにする。

この際、圧電素子で検出される信号の振幅と振幅基準値とを比較した上で、前記駆動信号の周波数の増加又は減少の変化割合を制御する。

そのため、圧電素子へ出力する駆動信号の周波数の増減と、その増減の割合と
10 をそれぞれ制御することで、より精度の高い制御が行われる。

さらに、圧電アクチュエータの駆動方法にかかる本発明では、前記振幅と振幅基準値とを比較して前記振幅が振幅基準値以上である場合には前記駆動信号の周波数の増加又は減少の変化割合を小さくし、前記振幅と振幅基準値とを比較して前記振幅が振幅基準値より小さい場合には前記駆動信号の周波数の増加又は減少
15 の変化割合を大きくする、構成が好ましい。

この構成の発明では、前記検出信号や検出信号及び駆動信号に基づいて、例えば検出された位相差と位相差基準値とを比較した結果に基づいて位相差目標値に達するように、圧電素子に供給する駆動信号の周波数を増減する。ここで、圧電アクチュエータを起動した直後においては、圧電素子で検出される検出信号の振幅が振幅基準値より小さい場合があるが、この場合には、所定時間当たりの前記圧電素子への周波数の変化割合を大きくするため、例えば、位相差が位相差目標値付近に達する高効率駆動状態となるまでの時間が短縮される。目標値付近に達すると、圧電素子で検出される検出信号の振幅は振幅基準値以上となり、所定時間当たりの前記圧電素子への周波数の変化割合を小さくする。このため、駆動信号
20 の周波数変動が小さくなり、安定した制御が行える。

また、圧電アクチュエータの駆動方法にかかる本発明では、前記振動体から出力されて振動体の振動状態を表す検出信号及び前記駆動信号の位相差を検出し、この位相差を位相差基準値と比較した結果に基づいて前記圧電素子へ供給する駆動信号の周波数を制御するとともに、前記検出信号の振幅を検出し、この振幅と

振幅基準値とを比較し、この比較結果に基づいて前記駆動信号の周波数を制御することが好ましい。

さらに、圧電アクチュエータの駆動方法にかかる本発明では、前記振動体から出力されて振動体の振動状態を表す複数の検出信号を検出し、複数の検出信号間の位相差を検出し、この位相差を位相差基準値と比較した結果に基づいて前記圧電素子へ供給する駆動信号の周波数を制御するとともに、前記検出信号のうち、少なくとも1つの検出信号の振幅を検出し、この振幅と振幅基準値とを比較し、この比較結果に基づいて前記駆動信号の周波数を制御することとしてもよい。

圧電アクチュエータで駆動対象を回転駆動する場合、振動体から出力される検出信号および駆動信号の位相差や、振動体から出力される複数の検出信号の位相差は、駆動信号の周波数と駆動対象の回転数との相関に最も近い変化を生じる。このため、前記位相差に基づいて周波数制御を行えば、電流値等の他のパラメータによって駆動信号の周波数制御を行う場合に比べて、精度よく、かつ効率的に駆動制御を行うことができる。その上、電流値を測定するには、抵抗を設けて電圧値として検出しなければならず、回路構成が複雑になるが、振動体から出力される検出信号を検出すれば、その信号の位相および振幅を容易に取得できるので、回路構成も簡単にでき、容易に制御できる。

また、検出信号の位相は、振動状態によって変化するが、駆動信号の位相は一定であるため、検出信号および駆動信号の位相差を求めて制御すれば、位相差による駆動信号の周波数制御を容易に行うことができる。

一方、検出信号の振幅の変動は、駆動対象の駆動状態等に応じて変化するため、複数の検出信号を検出していれば、駆動対象等に応じて振幅の変化を検出しやすい検出信号の振幅を検出するように設定できるので、振幅に基づく周波数制御を容易に行うことができる。

また、本発明の圧電アクチュエータの駆動方法は、前記振動体は、所定の周波数の駆動信号が圧電素子に与えられることで第1の振動モード及び第2の振動モードで振動し、前記検出信号は、振動体から出力されて第1の振動モード及び／又は第2の振動モードでの振動状態を表す検出信号である、ことが好ましい。

ここで、第1の振動モードでの振動状態を表す検出信号や、第2の振動モード

での振動状態を表す検出信号とは、各振動モードの振動状態のみに対応した検出信号に限らず、主に各振動モードの振動状態の影響を受けるが、他の振動モードの成分も含まれる検出信号でもよい。

- この構成の発明では、第1および第2の振動モードで振動体を振動させるので、
- 5 例えば、圧電アクチュエータの当接部を楕円軌道で移動させることができ、駆動対象物を容易に回転駆動させることができる。そして、この駆動対象物によって、各検出信号の振幅の変動も相違するため、振幅の変動幅が大きくて検出しやすい検出信号を選択することで、制御が容易に行えるようになる。

- 本発明の圧電アクチュエータの駆動装置は、所定の周波数の駆動信号が圧電素
- 10 子に与えられることで振動する振動体と、この振動体に設けられるとともに駆動対象に当接される当接部とを備えた圧電アクチュエータにおける前記圧電素子へ駆動信号を供給する圧電アクチュエータの駆動装置であって、前記駆動信号の周波数を制御する周波数制御手段と、前記検出信号の振幅を検出する振幅検出手段と、を備え、前記周波数制御手段は、前記振動体の振動状態を表す検出信号を検
- 15 出し、この検出信号及び前記駆動信号に基づいてまたは前記検出信号に基づいて前記駆動信号の周波数を制御するとともに、前記振幅と振幅基準値とを比較し、この比較結果に基づいて前記駆動信号の周波数を制御する、ことを特徴とする

- この構成の発明では、検出信号または検出信号及び前記駆動信号に基づいて圧電素子へ供給する駆動信号の周波数を制御するが、この周波数制御手段では、振
- 20 幅検出手段で検出された検出信号の振幅と振幅基準値とを比較し、この比較結果も参照して前記駆動信号の周波数を制御する。

そのため、本発明は、高効率駆動状態に達するまでの時間を短縮して消費電力を少なくし、安定した制御を行える圧電アクチュエータの駆動装置を提供することができる。

- 25 ここで、圧電アクチュエータの駆動装置にかかる本発明では、前記周波数制御手段は、駆動信号の周波数を増加又は減少する制御を行う周波数増減制御手段と、駆動信号の周波数の増加又は減少の変化割合を制御する周波数増減割合制御手段とを備え、前記周波数増減制御手段または周波数増減割合制御手段の一方は、振動体の振動状態を表す検出信号を検出し、この検出信号及び前記駆動信号に基づ

いてまたは前記検出信号に基づいて前記駆動信号の周波数を制御し、前記周波数増減制御手段または周波数増減割合制御手段の他方は、前記振幅と振幅基準値とを比較し、この比較結果に基づいて前記駆動信号の周波数を制御する、ことが好ましい。

- 5 この発明では、圧電素子へ出力する駆動信号の周波数の増減を制御する周波数増減制御手段と、その増減の割合を制御する周波数増減割合制御手段とを備えるため、目標値から大きく外れている場合には周波数増減割合制御手段によって変化割合を大きくすることで迅速に目標値に近づけて制御を行え、目標値に近づいている場合には周波数増減割合制御手段によって変化割合を小さくすることで、
10 大きな変動がない安定した制御を行うことができる。従って、高効率の駆動状態になるまでの時間が短縮され、消費電力も軽減できるとともに、精度が高く安定した制御が行われる。

- ここで、圧電アクチュエータの駆動装置にかかる本発明では、前記周波数制御手段は、前記検出信号及び前記駆動信号に基づいてまたは前記検出信号に基づいて前記駆動信号の周波数を増加又は減少する周波数増減制御手段と、前記振幅と振幅基準値との比較結果に基づいて前記駆動信号の周波数の増加又は減少の変化割合を制御する周波数増減割合制御手段とを備えることが好ましい。
15

- この発明では、例えば、周波数増減制御手段は、検出信号および駆動信号の位相差等に基づいて駆動信号の周波数の増減を制御し、周波数増減割合制御手段は、
20 検出信号の振幅に基づいてその増減の変化割合を制御できるので、振幅が小さくて位相差等が目標値から大きく離れていると判断できる場合には、変化割合を大きくして、迅速に目標値に近付けることができ、かつ、振幅が大きくて目標値に近いと判断できる場合には、変化割合を小さくして安定した制御を行うことができる。従って、圧電アクチュエータが高効率の駆動状態になるまでの時間が短縮
25 され、消費電力も軽減できる。

また、圧電アクチュエータの駆動装置にかかる本発明では、前記振動体の振動状態を表す検出信号を検出し、この検出信号及び前記駆動信号間の位相差または複数の検出信号間の位相差を検出する位相差検出手段を備え、前記周波数制御手段は、前記位相差検出手段で検出された位相差と位相差基準値とを比較すると

もに、この比較結果に基づいて前記圧電素子へ供給する駆動信号の周波数を制御するとともに、前記振幅と振幅基準値とを比較し、この比較結果に基づいて前記駆動信号の周波数を制御する、ことが好ましい。

- 5 位相差に基づいて周波数制御を行えば、前述のとおり、電流値等の他のパラメータによって駆動信号の周波数制御を行う場合に比べて、精度よく、かつ効率的に駆動制御を行うことができる上、回路構成も簡単にでき、容易に制御できる。

ここで、圧電アクチュエータの駆動装置にかかる本発明では、前記位相差検出手段は前記位相差を検出しこの位相差に相当する電圧値を有する位相差電圧信号を出力する位相差－電圧変換回路であることが好ましい。

- 10 この構成の発明では、位相差を電圧値に変換し、この電圧値に変換された信号を周波数制御手段に出力するため、周波数制御手段での高い精度の制御が容易となる。

- さらに、前記周波数制御手段は、前記位相差を比較するための基準電圧と振幅を検出するための基準電圧とをそれぞれ出力する定電圧回路と、この定電圧回路
15 で出力される位相比較用基準電圧と前記位相差－電圧変換回路から出力される位相差電圧とを比較して比較結果信号を出力する比較回路と、この比較回路で出力される比較結果信号を受けて前記圧電素子に供給する駆動信号の周波数を制御する駆動制御部とを備え、前記振幅検出手段は、前記定電圧回路で出力される振幅検出用基準電圧と前記圧電素子の検出信号とを比較して振幅を検出する振幅検出
20 回路であり、前記駆動制御部は、前記振幅検出回路で検出された振幅検出電圧が基準電圧以上である場合には所定時間当たりの前記周波数の変化割合を小さくし、前記振幅検出回路で検出された振幅検出電圧が基準電圧より小さい場合には所定時間当たりの前記周波数の変化割合を大きくする機能を有する構成が好ましい。

- この構成の発明では、定電圧回路において、位相差を比較するための基準電圧
25 を比較回路に出力し、この比較回路では、位相差－電圧変換回路から出力される位相差電圧信号と前記基準電圧とを比較して比較結果信号を出力し、この比較結果信号が駆動制御部に送られる。

この信号を受けて駆動制御部では、圧電素子に供給する駆動信号の周波数を制御するが、この際、振幅検出電圧が基準電圧以上である場合には周波数の変化割

合を小さくし、振幅検出電圧が基準電圧より小さい場合には周波数の変化割合を大きくするため、高効率駆動状態に達するまでの時間が短縮されるとともに、オーバーシュートすることがなくなって安定した制御が行える。

5 そのため、本発明では、振幅検出電圧と基準電圧との比較結果に基づいて駆動信号の周波数の変化割合を調整するという構成を採用することで、圧電アクチュエータの駆動制御を高精度に行うことができる。

10 その上、前記駆動制御部は、前記圧電素子に駆動信号を供給する駆動回路と、この駆動回路に入力される電圧に対応した周波数を出力する電圧制御発振器と、前記振幅と振幅基準値とを比較した結果に基づいて前記電圧制御発振器に供給する電圧を調整する電圧調整回路とを備えた構成が好ましい。

この構成の発明では、前述の構成の電圧制御発振器及び電圧調整回路を採用することで、圧電アクチュエータの駆動制御を高精度に行うことができる。

15 さらに、前記電圧調整回路は、前記電圧制御発振器に出力する電圧を調整する電圧調整部と、出力するクロック信号の周波数を可変としたクロック回路と、このクロック回路で出力されるクロック信号に対応して前記電圧調整部へ信号を出力するとともに前記クロック信号の周波数を前記振幅検出回路で検出された振幅信号に基づいて変更する制御回路と、を備えた構成が好ましい。

20 この構成の発明では、通常、制御回路としてよく用いられるクロック回路を利用して電圧調整回路を構成するため、当該電圧調整回路、ひいては、駆動装置の構造を簡易なものにできる。

その上、前記制御回路は前記振幅信号が基準電圧以上である場合には前記クロック回路から出力されるクロック信号を遅くし、前記振幅信号が基準電圧より小さい場合には前記クロック回路から出力されるクロック信号を速くする構成が好ましい。

25 この構成の発明では、振幅信号と基準電圧とを比較してクロック信号の速度を決定するため、より精度の高い制御を行うことができる。

また、前記電圧調整回路は、異なる時定数を有するとともに時定数に応じて前記電圧制御発振器に電圧を出力するループフィルタと、このループフィルタの時定数を前記振幅検出回路で検出された振幅信号も基づいて選択する制御回路とを

備えた構成が好ましい。

この構成の発明では、位相同期回路としてよく用いられるループフィルタを利用して電圧調整回路を構成するため、当該電圧調整回路、ひいては、駆動装置の構造を簡単なものにできる。

- 5 その上、前記制御回路は前記振幅信号が基準電圧以上である場合には前記ループフィルタから出力される電圧の量を小さくし、前記振幅信号が基準電圧より小さい場合には前記ループフィルタから出力される電圧の量を大きくする構成が好ましい。

- 10 この構成の発明では、振幅信号と基準電圧とを比較してループフィルタで出力される電圧の量を調整するため、より精度の高い制御を行うことができる。

- 15 本発明の電子時計は、所定の周波数の駆動信号が圧電素子に与えられることで振動する振動体及びこの振動体に設けられるとともに駆動対象に当接される当接部を有する圧電アクチュエータと、前述の構成の圧電アクチュエータの駆動装置と、前記圧電アクチュエータによって駆動される日付表示機構と、を備えたことを特徴とする。

この構成の発明では、消費電力が少なく、安定した制御を短時間で達成できる電子時計を提供することができる。

- 20 本発明の電子機器は、所定の周波数の駆動信号が圧電素子に与えられることで振動する振動体及びこの振動体に設けられるとともに駆動対象に当接される当接部を有する圧電アクチュエータと、前述の構成の圧電アクチュエータの駆動装置と、を備えたことを特徴とする。

この構成の発明では、消費電力が少なく、安定した制御が短時間で達成できる電子機器を提供でき、特に小型で携帯するのに適した電子機器を提供することができる。

- 25 本発明の圧電アクチュエータの駆動装置のプログラムは、所定の周波数の駆動信号が圧電素子に与えられることで振動する振動体と、この振動体に設けられるとともに駆動対象に当接される当接部とを備えた圧電アクチュエータにおける前記圧電素子へ駆動信号を供給する圧電アクチュエータの駆動装置のプログラムであって、前記駆動装置に組み込まれたコンピュータを、前記検出信号の振幅を検

- 出する振幅検出手段、及び、前記振動体の振動状態を表す検出信号を検出し、この検出信号または検出信号及び前記駆動信号に基づいて前記圧電素子へ供給する駆動信号の周波数を制御するとともに、前記振幅と振幅基準値とを比較し、この比較結果に基づいて前記駆動信号の周波数を制御する周波数制御手段として機能させることを特徴とする。
- 5

また、本発明の記憶媒体は、前記プログラムを記憶したコンピュータ読み取り可能な記憶媒体であることを特徴とする。

- このような本発明によれば、駆動装置に組み込まれたコンピュータを前記各手段として機能させることで、前述と同様に、高効率駆動状態に達するまでの時間を短縮して消費電力を少なくし、安定した制御を行うことができる。そして、各手段をコンピュータで構成すれば、プログラムを変更するだけで、容易に条件を変更できるため、駆動対象等に応じた適切な制御を容易に行うことができる。
- 10

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

- 15 図1は、本発明の第1実施形態に係る電子時計における日付表示機構の主要部の構成を示す平面図である。
- 図2は、前記電子時計の概略構成を示す断面図である。
- 図3は、前記電子時計で用いられる圧電アクチュエータの構成要素である振動体を示す断面図である。
- 20 図4は、前記振動体を示す平面図である。
- 図5は、前記振動体の圧電素子に電圧を印加する際の概略構成図である。
- 図6は、圧電アクチュエータの駆動装置の内部構成を示すブロック図である。
- 図7Aは、位相差－電圧変換回路の内部構成を示すブロック図であり、図7Bは電圧調整回路の内部構成を一例のブロック図であり、図7Cは電圧調整回路の異なる例の内部構成を示すブロック図である。
- 25 図8は、図7Bの電圧調整回路の詳細な内部構成を示すブロック図である。
- 図9は、位相差検出出力、クロック信号及び出力電圧の相互の関係を示すグラフである。
- 図10は、図7Bの電圧調整回路を用いて圧電アクチュエータを駆動する方法

を説明するフローチャートである。

図 1 1 は、図 7 B の電圧調整回路を用いて圧電アクチュエータを駆動する方法を説明するフローチャートである。

図 1 2 は、図 7 C の電圧調整回路の詳細な内部構成を示すブロック図である。

- 5 図 1 3 は、図 7 C の電圧調整回路を用いて圧電アクチュエータを駆動する方法を説明するフローチャートである。

図 1 4 は、図 7 C の電圧調整回路を用いて圧電アクチュエータを駆動する方法を説明するフローチャートである。

図 1 5 は、第 1 実施形態の効果を説明するための概念図である。

- 10 図 1 6 は、本発明の第 2 実施形態に係る携帯機器（非接触型 I C カード）の外観斜視図である。

図 1 7 は、非接触型 I C カードの上位桁表示部を示す詳細構成正面図である。

図 1 8 は、上位桁表示部の詳細構成側面図である。

図 1 9 は、下位桁表示部の詳細構成側面図である。

- 15 図 2 0 は、下位桁表示部の詳細構成正面図である。

図 2 1 は、従来例の課題を説明するための概略図である。

DETAILED DESCRIPTION OF PREFERRED EMBODIMENT(S)

以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。

- 20 まず、第 1 実施形態として、圧電アクチュエータによって駆動される日付表示機構を備えた電子時計を例示する。

[1. 全体構成]

- 第 1 実施形態に係る電子時計 1 が図 1 及び図 2 に示されている。図 1 は圧電アクチュエータを組み込んだ日付表示機構の主要構成を示す平面図であり、図 2 は、
25 その断面図である。

図 1 及び図 2 に示されるように、日付表示機構 3 0 は、日付を表示する日車 3 1 と、駆動力を伝達して日車 3 1 を回転させる動力伝達機構 3 2 と、駆動力を動力伝達機構 3 2 に与える振動体 5 とを備える。

なお、図示はしないが、この日付表示機構 3 0 は、時計のケースに収納され、

日車 3 1 の一部がケースに形成された窓から視認可能となっている。

日車 3 1 は、リング状の平板部材で、表面に日付表示 3 1 A が印刷やその他の方法により形成されている。また、日車 3 1 の内周側には日車 3 1 を回転させるための日送り歯 3 3 が形成されている。日送り歯 3 3 は、一つの歯の間隔（ピッチ）が日付表示 3 1 A の一日分になっており、つまり日送り歯 3 3 を一つ送ると日付表示 3 1 A が一つ送られて、日付が変わるように設定されている。

動力伝達機構 3 2 は、日送り歯 3 3 に噛合する日回し車 3 6 と、日回し車 3 6 に噛合する日回し中間車 3 5 と、日回し中間車 3 5 に噛合して被駆動体としてのロータ 3 7 を一体的に備える伝え車 3 4 とを備える。

日回し車 3 6 は、周囲に 5 つのつめ部 4 2 を有し、そのピッチが日送り歯 3 3 と噛合するように設定されている。日回し車 3 6 の回転軸は、基板 4 4 に設けられた長孔 4 4 A に回転可能に支持されている。また、基板 4 4 には、一端が固定された押さえ板 4 3 が取り付けられており、この押さえ板 4 3 の他端は日回し車 3 6 の回転軸に当接されている。この押さえ板 4 3 により、日回し車 3 6 は、日回し中間車 3 5 側に付勢されている。

日回し中間車 3 5 は、日回し車 3 6 のつめ部 4 2 が当接される円盤状の日送り部 4 0 と、日送り部 4 0 と一体的に形成された歯車 3 9 とを備えている。日送り部 4 0 には、周囲に一箇所凹部 4 1 が設けられている。

伝え車 3 4 は、歯車 3 9 と噛合するロータかな 3 8 と、このロータかな 3 8 に一体的に形成されるロータ 3 7 とを備えている。ロータ 3 7 の外周には、例えば圧力角 20° のインボリュート曲線からなる歯形状部が等間隔に配置された凹凸部（図示せず）が形成されている。ロータ 3 7 は、シリコンウェハーで構成され、エッチング加工によって形成されている。また、ロータ 3 7 及びロータかな 3 8 は接着やろう付けなどによって結合されている。

このような日付表示機構 3 0 は、以下のように動作する。

振動体 5 に電圧が繰り返し印加されると、振動体 5 は、その両側に設けられた凸部 2 0 が楕円軌道を描くように振動する。振動体 5 が伸長した時に楕円軌道の一部において、凸部 2 0 がロータ 3 7 の凹凸部に噛合し、ロータ 3 7 を間欠回転させる。これを繰り返すことによりロータ 3 7 を所定の回転数で回転させる。

日回し中間車 3 5 は、2 4 時間で一周するように設定されているので、2 4 時間経過ごとに日送り部 4 0 の凹部 4 1 が日回し車 3 6 との当接部に位置する。日回し車 3 6 の回転軸は押さえ板 4 3 によって付勢されているので、つめ部 4 2 が凹部 4 1 に係合する。この時につめ部 4 2 が日送り歯 3 3 を図 5 中の矢印 C 方向に押すことにより日車 3 1 を回転させる。これにより、日車 3 1 の日付表示 3 1 A が一日分送られて時計の外部からは日付が変更されて表示されることとなる。

[2. 圧電アクチュエータ]

本実施形態では、ロータ 3 7 及び振動体 5 を備えて圧電アクチュエータ 1 0 が構成されている。

- 10 振動体 5 は、略矩形平板状に形成された補強板 1 6 と、この補強板 1 6 の表裏両面に設けられた平板状の圧電素子 1 7 と、補強板 1 6 をケース側に取り付けるための腕部 1 8 とを備える。

補強板 1 6 は、硬度 5 0 0 H V の S U S 3 0 1 などのステンレス鋼、その他の材料から構成され、略矩形状の長辺と短辺とがほぼ 7 対 2 の比で形成されている。

- 15 また、図 3 及び図 4 に示される通り、補強板 1 6 の対角線上の長さ方向両端には、当接部としての凸部 2 0 が一体的に形成されている。凸部 2 0 の先端は、ロータ 3 7 の凹凸部（図示せず）と同様に例えば圧力角 2 0 ° のインボリュート曲線で形成されている。

- 20 圧電素子 1 7 は、補強板 1 6 の両面の略矩形状部分に接着されている。圧電素子 1 7 の材料は、特に限定されず、チタン酸ジルコニウム酸鉛（P Z T）、水晶、ニオブ酸リチウム、チタン酸バリウム、チタン酸鉛、メタニオブ酸鉛、ポリフッ化ビニリデン、亜鉛ニオブ酸鉛、スカンジウムニオブ酸鉛等の各種のものをを用いることができる。

- 25 また、圧電素子 1 7 の両面には、ニッケルメッキ層及び金メッキ層などの電極 1 9 が形成されている。

図 5 に示される通り、これらの電極 1 9 を介して圧電素子 1 7 に、駆動装置 5 0 から駆動信号が供給されるようになっている。

圧電素子 1 7 の分極方向が逆の場合には、上面、中央、下面の電位が各々 + V、0、+ V（もしくは - V、0、- V）となるように駆動装置 5 0 から駆動信号を

印加すれば、板状の圧電素子 17 が伸び縮みするように変位することになり（図 4 の想像線参照）、本実施形態ではこのような伸縮による変位を利用している。

なお、圧電素子 17 の分極方向を同一となるようにした場合、上面、中央、下面の電位が各々 $+V$ 、 0 、 $-V$ （もしくは $-V$ 、 0 、 $+V$ ）となるように電圧を印

5 加すればよい。

図 4 に示される通り、電極 19 は、圧電素子 17 の幅方向一側から中央部にかけて形成される電極 19 A と、圧電素子 17 の幅方向他側において長手方向略中央で分割形成される 2 つの電極 19 B、19 C とを備えている。

これらの電極 19 A、19 B、19 C には、それぞれ図示しないリード線が接
10 続されている。ここで、電極 19 A は振動体 5 を振動させるために電圧を供給するための駆動用電極を構成するものであり、電極 19 B は振動体 5 に発生する縦振動を検出する検出用電極を構成し、電極 19 C は屈曲振動を検出する検出用電極を構成する。

このように構成される振動体 5 は、駆動装置 50 から電極 19 A を介して圧電
15 素子 17 に交流の駆動信号が印加されると、圧電素子 17 には、長手方向に伸縮する振動が発生する。その際、圧電素子 17 が長手方向に伸縮することにより、振動体 5 が長手方向に伸縮する縦振動を起こすようになっており、これにより振動体 5 は第 1 の振動モードで振動することになる。このように圧電素子 17 への駆動信号の印加によって振動体 5 が電氣的に縦振動で励振すると、振動体 5 の重
20 量バランスのアンバランスさによって振動体 5 の重心を中心とした回転モーメントが発生する。この回転モーメントによって振動体 5 が幅方向に揺動する屈曲振動が誘発されるようになっていく。この屈曲振動は第 1 の振動モードとは振動方向の異なる第 2 の振動モードである。

各振動の共振周波数と印加される駆動信号の周波数との関係は、印加される駆
25 動信号の電圧値が一定であるとき、各振動の振幅は各振動の共振周波数を最大として駆動信号の周波数が共振周波数から離れると、次第に小さくなる特性となる。また、振動体 5 の屈曲振動は、縦振動時の重力アンバランスで誘発されるため、縦振動の振幅の大きさ等により縦振動との位相差がずれる。即ち、駆動信号の周波数によって縦振動の位相と屈曲振動の位相の差が変化する特性を有している。

必要な駆動を得るためには、各々の振動をどの程度の振幅で、かつ、どの程度の位相差で励振させるかを設定する必要があるが、これらは上述した如く、振動体 5 の特性から圧電素子 17 に印加される駆動信号の周波数に依存される。

[3. 圧電アクチュエータの駆動装置及び駆動方法]

5 次に、駆動装置 50 の構成を図 6 に基づいて説明する。

図 6 において、駆動装置 50 は、圧電素子 17 の 2 カ所で検出される縦検出信号と屈曲検出信号との位相差を検出する位相差－電圧変換回路 51 と、位相差を比較するための基準電圧と振幅信号を検出するための基準電圧とをそれぞれ出力する定電圧回路 52 と、この定電圧回路 52 で出力される位相比較用基準電圧と
10 位相差－電圧変換回路 51 から出力される位相差電圧とを比較して比較結果信号を出力する比較回路 53 と、比較結果信号を受けて圧電素子 17 に供給する駆動電圧を制御する電圧調整回路 54 と、この電圧調整回路 54 で出力された電圧に対応して駆動回路 55 に出力する周波数を調整する電圧制御発振器 56 と、定電圧回路 52 で出力される振幅検出用基準電圧と圧電素子 17 の振幅信号とを比較
15 して振幅信号を検出する振幅検出回路 57 と、を備えている。

振幅検出回路 57 は、振幅信号を検出するものであれば具体的な構成を問うものではなく、例えば、一定時間内で一定振幅の数を検出するものでもよく、あるいは、単純に振幅レベルを検出するものや、振幅のピークレベルを検出するものでもよい。

20 ここで、本実施形態では、駆動回路 55、電圧制御発振器 56 及び電圧調整回路 54 を備えて圧電素子 17 に供給する駆動信号の周波数を制御する駆動制御部が構成される。そして、この駆動制御部と、定電圧回路 52 と、比較回路 53 とを備えて周波数制御手段が構成される。また、本実施形態では、後述するように、電圧調整回路 54 に、比較回路 53 から出力される信号と、振幅検出回路 57 から出力される信号を入力することで、各検出信号の位相差に基づく周波数制御（周波数増減制御）と、検出信号の振幅に基づく周波数制御（周波数増減割合制御）とを同時に行っている。従って、本実施形態では、周波数制御手段のうち、主に電圧調整回路 54 により、駆動信号の周波数の増減を制御する周波数増減制御手段および駆動信号の周波数の増減割合を制御する周波数増減割合制御手段が構

成される。

位相差－電圧変換回路 5 1 は、位相差検出手段を構成するものであって、図 7 A に示される通り、圧電素子 1 7 からそれぞれ出力される縦検出信号と屈曲検出信号との波形を整形する波形整形部 5 1 1 と、この波形整形部 5 1 1 でそれぞれ整形された 2 つの波形の位相差を比較する位相差比較部 5 1 2 と、この位相差比較部 5 1 2 で比較された位相差に相当する電圧値を D C 変換して位相差電圧信号を出力する位相差－D C 変換器 5 1 3 とを備えている。

定電圧回路 5 2 は、縦検出信号と屈曲検出信号との最適な位相差に相当する電圧値を有する位相比較用基準電圧を比較回路 5 3 に出力するとともに検出信号の最適な振幅値（目標値）に相当する電圧値を有する振幅検出用基準電圧を振幅検出回路 5 7 に出力する構成である。

電圧調整回路 5 4 は、比較回路 5 3 から出力された信号に基づいて圧電素子 1 7 に供給する交流電圧を制御する電圧制御機能と、振幅検出回路 5 7 で出力された信号に基づいて圧電素子 1 7 への所定時間当たりの電圧制御量を調整する制御速度調整機能とを有する。

ここで、電圧調整回路 5 4 としては、図 7 B に示される構成と図 7 C に示される構成との 2 通りの構成を採用することができる。

図 7 B 及び図 8 には電圧調整回路 5 4 の一例が示されている。図 7 B 及び図 8 において、電圧調整回路 5 4 は、電圧制御発振器 5 6 に出力する電圧を調整する電圧調整部 5 4 1 と、出力するクロック信号の周波数を可変としたクロック回路 5 4 2 と、このクロック回路 5 4 2 で出力されるクロック信号に対応して電圧調整部 5 4 1 へ信号を出力する制御回路 5 4 3 とを備え、この制御回路 5 4 3 はクロック信号の周波数を振幅検出回路 5 7 で検出された振幅信号に基づいて変更する。

電圧調整部 5 4 1 は、位相差検出信号が目標値より低い場合には電圧値を上げるアップカウンタとなり位相差検出信号が目標値より高い場合には電圧値を下げるダウンカウンタとなるアップダウンカウンタ（UD カウンタ） 5 4 4 と、この UD カウンタ 5 4 4 から出力されたデジタル信号をアナログ信号に変換する D/A 変換器 5 4 5 とを備えている。

制御回路 5 4 3 は、NAND ゲート 5 4 3 A, 5 4 3 B を備え、振幅信号が基準電圧以上である場合にはクロック回路 5 4 2 から出力されるクロック信号を遅クロック（例えば、1 kHz）とし、振幅信号が基準電圧より小さい場合にはクロック回路 5 4 2 から出力されるクロック信号を速クロック（例えば、100 kHz）とする構成である。

NAND ゲート 5 4 3 A, 5 4 3 B は、ハイレベルの信号及びローレベルの信号と、クロック回路 5 4 2 から出力されるパルス信号とを入力し、このパルス信号の入力タイミングに応じてアップダウンカウンタ 5 4 4 に信号を出力する。

UD カウンタ 5 4 4 は、NAND ゲート 5 4 3 A, 5 4 3 B を介して入力される情報を積算する。この UD カウンタ 5 4 4 は、例えば、12 ビットのカウンタ等から構成されており、NAND ゲート 5 4 3 A, 5 4 3 B からの信号により、カウンタ値をアップあるいはダウンする。

D/A 変換器 5 4 5 は、内部に UD カウンタ 5 4 4 のカウンタ値に応じた周波数制御電圧値が設定されている。そして、この D/A 変換器 5 4 5 は、UD カウンタ 5 4 4 から出力されるカウンタ値を入力すると、このカウンタ値に応じた周波数制御電圧値に相当する周波数制御電圧を電圧制御発振器 5 6 に出力する。

ここで、図 9 には、位相差検出出力と、制御回路 5 4 3 で制御される速度の異なる 2 種類のクロック信号と、UD カウンタ 5 4 4 で制御される電圧との関係が示されている。

図 9 において、早クロック（クロック速度を速くすること）を選択すると、所定時間当たりのカウント数が大きいため、変化する電圧値も大きくなるが、遅クロック（クロック速度を遅くすること）を選択すると、所定時間当たりのカウント数が小さいため、変化する電圧値が小さくなる。また、位相差検出出力が L（低い）の場合には電圧が目標電圧に対して低いため、アップカウントクロックを入力し、位相差検出出力が H（高い）の場合には電圧が目標電圧に対して高いため、ダウンカウントクロックを入力する。これらの制御を、目標電圧を中心に行う。

次に、図 7 B 及び図 8 で示される電圧調整回路 5 4 を用いて圧電アクチュエータの駆動方法について、図 10 及び図 11 のフローチャートに基づいて説明する。

図 10 において、電源を投入すると、比較回路 5 3 から出力される信号は L で

あり、振幅検出回路 5 7 で出力される信号は L であるため、通常のクロック（例えば、100 kHz）でカウントアップする（S 1 0 1）。

その後、D/A変換器 5 4 5 からカウント数に応じた電圧が出力され、その電圧値に対応した周波数が電圧制御発振器 5 6 から出力され（S 1 0 2）、この周波数で圧電素子 1 7 が駆動される（S 1 0 3）。

圧電素子 1 7 の検出用電極 1 9 C、1 9 D から縦振動の検出信号を読み込み（S 1 0 4）、振幅検出信号を出力する（S 1 0 5）。ここで、振幅検出電圧と基準電圧との値を比較し（S 1 0 6）、振幅検出電圧が基準電圧以上であれば、制御回路 5 4 3 でクロック速度を遅くし（S 1 0 7）、振幅検出電圧が基準電圧より小さければ、制御回路 5 4 3 でクロック速度を早くする（S 1 0 8）。

その後、図 1 1 に示される通り、検出用電極 1 9 C、1 9 D から縦振動検出信号及び屈曲振動検出信号の双方を読み込み（S 1 0 9）、位相差電圧を出力する（S 1 1 0）。

ここで、位相差検出電圧と基準電圧とを比較し（S 1 1 1）、位相差検出電圧が基準電圧以上であれば（H）、UDカウンタをダウンカウントし（S 1 1 2）、電圧制御発振器 5 6 に出力する電圧を下げ、位相差検出電圧が基準電圧より小さければ（L）、UDカウンタをアップカウントし（S 1 1 3）、電圧制御発振器 5 6 に出力する電圧を上げる。これらの工程が終了したら、S 1 0 1 で示されるステップに戻る。

次に、電圧調整回路 5 4 が図 7 C に示される構成である場合について説明する。

図 7 C 及び図 1 2 には電圧調整回路 5 4 の他の例が示されている。

図 7 C 及び図 1 2 において、電圧調整回路 5 4 は、異なる時定数（例えば、1 msec、100 msec）となる 2 個の抵抗 R1,R2 を有するとともにこれらの時定数に応じて電圧制御発振器 5 6 に電圧を出力するループフィルタ 5 4 6 と、このループフィルタ 5 4 6 の時定数を振幅検出回路 5 7 で検出された振幅信号に基づいて選択する制御回路 5 4 7 とを備える。

ループフィルタ 5 4 6 はコンデンサ C 1 を備え、このコンデンサ C 1 に充電あるいは放電することで、電圧制御発振器 5 6 に出力する電圧を調整する。

制御回路 5 4 7 は振幅信号が基準電圧以上である場合には時定数が小さくなる

ような抵抗 R1 を選択してループフィルタ 5 4 6 から出力される電圧の量を小さくし、振幅信号が基準電圧より小さい場合には時定数が大きくなるような抵抗 R2 を選択してループフィルタ 5 4 6 から出力される電圧の量を大きくする構成である。

- 5 次に、図 7 C 及び図 1 2 で示される電圧調整回路 5 4 を用いて圧電アクチュエータの駆動方法について、図 1 3 及び図 1 4 のフローチャートに基づいて説明する。

図 1 3 において、電源を投入すると、比較回路 5 3 から出力される信号は L であり、振幅検出回路 5 7 で出力される信号は L であるため、ループフィルタ 5 4 6 は通常の時定数（例えば、1 0 0 msec）で充電する（S 2 0 1）。その後、ループフィルタ 5 4 6 の出力に応じた電圧が出力され、その電圧値に対応した周波数が電圧制御発振器 5 6 から出力され（S 2 0 2）、この周波数で圧電素子 1 7 が駆動される（S 2 0 3）。

さらに、圧電素子 1 7 の検出用電極 1 9 C、1 9 D から縦振動の検出信号を読み込み（S 2 0 4）、振幅検出信号を出力する（S 2 0 5）。

ここで、振幅検出電圧と基準電圧との値を比較し（S 2 0 6）、振幅検出電圧が基準電圧以上であれば、制御回路 5 4 3 でループフィルタ 5 4 6 の時定数を小さなもの（例えば、1 msec）を選択してループフィルタ 5 4 6 から出力される電圧の量を小さくし（S 2 0 7）、振幅検出電圧が基準電圧より小さければ、制御回路 5 4 3 でループフィルタ 5 4 6 の時定数を大きなもの（例えば、1 0 0 msec）を選択してループフィルタ 5 4 6 から出力される電圧の量を大きくする（S 2 0 8）。

その後、図 1 3 で示される通り、検出用電極 1 9 C、1 9 D から縦振動検出信号及び屈曲振動検出信号の双方を読み込み（S 2 0 9）、位相差電圧を出力する（S 2 1 0）。

ここで、位相差検出電圧と基準電圧とを比較し（S 2 1 1）、位相差検出電圧が基準電圧以上であれば（H）、ループフィルタ 5 4 6 で充電し（S 2 1 2）、電圧制御発振器 5 6 に出力する電圧を下げ、位相差検出電圧が基準電圧より小さければ（L）、ループフィルタ 5 4 6 から放電し（S 2 1 3）、電圧制御発振器

5 6に出力する電圧を上げる。これらの工程が終了したら、S 2 0 1で示されるステップに戻る。

[4. 第 1 実施形態の効果]

従って、第 1 実施形態によれば、次の作用効果を奏することができる。

- 5 (1) 本実施形態の圧電アクチュエータの駆動装置 5 0 は、振動体 5 から縦振動と屈曲振動との検出信号を検出し、これら 2 つの信号間の位相差を検出する位相差検出手段と、この位相差検出手段で検出された位相差と位相差基準値とを比較するとともに、この比較結果に基づいて圧電素子 1 7 へ供給する駆動信号の周波数を制御する周波数制御手段と、圧電素子 1 7 の検出信号の振幅を検出する振幅検出手段と、を備え、周波数制御手段は、前記振幅と振幅基準値とを比較し、この比較結果に基づいて前記駆動信号の周波数を制御する構成であるため、位相差に基づく駆動信号の周波数制御に加え、検出信号の振幅に基づく駆動信号の周波数制御を併せて行うことになる。そのため、位相差に基づく周波数制御の不具合を振幅に基づく周波数制御で補完することになり、高効率駆動状態に達するまでの時間を短縮して消費電力を少なくし、安定した制御を行える。
- 10 (2) 位相差検出手段は位相差を検出しこの位相差に相当する電圧値を有する位相差電圧信号を出力する位相差－電圧変換回路 5 1 であるため、位相差を電圧値に変換し、この電圧値に変換された信号を周波数制御手段に出力するため、周波数制御手段での高い精度の制御が容易となる。
- 20 (3) 周波数制御手段は、位相差を比較するための基準電圧と振幅を検出するための基準電圧とをそれぞれ出力する定電圧回路 5 2 と、この定電圧回路 5 2 で出力される位相比較用基準電圧と位相差－電圧変換回路 5 1 から出力される位相差電圧とを比較して比較結果信号を出力する比較回路 5 3 と、この比較回路 5 3 で出力される比較結果信号を受けて圧電素子 1 7 に供給する駆動信号の周波数を制御する駆動制御部とを備え、振幅検出手段は定電圧回路 5 2 で出力される振幅検出用基準電圧と圧電素子 1 7 の検出信号とを比較して振幅を検出する振幅検出回路 5 7 であり、駆動制御部は、振幅検出回路 5 7 で検出された振幅検出電圧が基準電圧以上である場合には所定時間当たりの周波数の変化割合を小さくし、振幅検出回路 5 7 で検出された振幅検出電圧が基準電圧より小さい場合には所定時間
- 25

当たりの周波数の変化割合を大きくする構成としたので、駆動制御部において、
圧電素子 17 に供給する駆動信号の周波数を制御する際、振幅検出電圧が基準電
圧以上である場合には周波数の変化割合を小さくし、振幅検出電圧が基準電圧よ
り小さい場合には周波数の変化割合を大きくするため、高効率駆動状態に達する
5 までの時間が短縮される他、図 15 に示される通り、制御電圧が目標位相差電圧
付近でのふらつきが小さくなって、オーバーシュートすることがなくなり、安定
した駆動制御が行える。

そのため、振幅検出電圧と基準電圧との比較結果に基づいて駆動信号の周波数
の変化割合を調整するという構成を採用することで、圧電アクチュエータ 10 の
10 駆動制御を高精度に行うことができる。

(4) 駆動制御部は、圧電素子 17 に駆動信号を供給する駆動回路 55 と、この
駆動回路 55 に入力される電圧に対応した周波数を出力する電圧制御発振器 56
と、振幅と振幅基準値とを比較した結果に基づいて電圧制御発振器 56 に供給す
る電圧を調整する電圧調整回路 54 とを備えて構成したから、電圧制御発振器 5
15 6 及び電圧調整回路 54 を採用することで、圧電アクチュエータ 10 の駆動制御
を高精度に行うことができる。

(5) 電圧調整回路 54 を、電圧制御発振器 56 に出力する電圧を調整する電圧
調整部 541 と、出力するクロック信号の周波数を可変としたクロック回路 54
2 と、このクロック回路 542 で出力されるクロック信号に対応して電圧調整部
20 541 へ信号を出力するとともにクロック信号の周波数を振幅検出回路 57 で検
出された振幅信号に基づいて変更する制御回路 543 とを備えた構成とすれば、
制御回路としてよく用いられるクロック回路 542 を利用しているため、駆動装
置 50 の構造を簡易なものにできる。特に、電圧調整部 541 は UD カウンタ 5
44 を備えた構成としたので、外付け部品が不要とされ、スweep速度を容易に
25 可変することができるので、IC 化が有利となる。

(6) 制御回路 543 を、振幅信号が基準電圧以上である場合にはクロック回路
542 から出力されるクロック信号を遅くし、振幅信号が基準電圧より小さい場
合にはクロック回路 542 から出力されるクロック信号を速くする構成としたの
で、振幅信号と基準電圧とを比較してクロック信号の速度を決定するため、より

精度の高い制御並びに安定した駆動制御を行うことができる。

(7) 電圧調整回路 5 4 を、異なる 2 つの時定数を有するとともに時定数に応じて電圧制御発振器に電圧を出力するループフィルタ 5 4 6 と、このループフィルタ 5 4 6 の時定数を振幅検出回路 5 7 で検出された振幅信号に基づいて選択する
5 制御回路 5 4 7 とを備えた構成とすれば、位相同期回路としてよく用いられるループフィルタ 5 4 6 を利用して駆動装置 5 0 を構成でき、ディスクリートパーツで構成が容易となり、駆動装置 5 0 の構造を簡単なものにし、装置のコストを安くできる。

(8) 制御回路 5 4 3 は振幅信号が基準電圧以上である場合にはループフィルタ
10 5 4 6 から出力される電圧の量を小さくし、振幅信号が基準電圧より小さい場合にはループフィルタ 5 4 6 から出力される電圧の量を大きくする構成としているので、振幅信号と基準電圧とを比較してループフィルタ 5 4 6 で出力される電圧の量を調整するため、より精度の高い制御を行うことができる。

(9) 制御回路 5 4 3 は、早クロックと遅クロックとの 2 種類を選択可能とした
15 のので、制御回路 5 4 3 自体の構造を簡易なものにできる。

(10) 制御回路 5 4 7 は、異なる 2 つの時定数を有するループフィルタ 5 4 6 を切換可能としたので、制御回路 5 4 7 自体の構造を簡易なものにできる。

(11) 電子時計を、圧電素子 1 7 を有する振動体 5 及びこの振動体 5 に設けられるとともに駆動対象に当接される凸部 2 0 を有する圧電アクチュエータ 1 0 と、
20 前述の構成の駆動装置 5 0 と、圧電アクチュエータ 1 0 によって駆動される日付表示機構 3 0 と、を備えて構成したので、消費電力が少なく、安定した制御を短時間で達成できる電子時計を提供することができる。

[第 2 実施形態]

次に、本発明の第 2 実施形態を図 1 6 から図 2 0 に基づいて説明する。

25 第 2 実施形態は圧電アクチュエータの駆動装置 5 0 を携帯型の電子機器（携帯機器）に適用した点で第 1 実施形態と相違するものであるが、圧電アクチュエータの駆動装置 5 0 の構成は第 1 実施形態と同じである。ここで、第 2 実施形態の説明中、第 1 実施形態と同一の構成要素は同一符号を付して説明を省略もしくは簡略にする。

[5. 第 2 実施形態の構成]

第 2 実施形態では、携帯機器は決済機能を有する非接触型 IC カードであり、この IC カードに圧電アクチュエータ 10 及び駆動装置 50 が設けられている。

図 16 は非接触型 IC カードの外観斜視図である。

- 5 図 16 において、非接触型 IC カード 400 の表面側には、残金表示を行う残金表示カウンタ 401 が設けられている。

残金表示カウンタ 401 は、4 桁の残金を表示するものであり、図 17 に示される通り、上位 2 桁を表示する上位桁表示部 402 と、下位 2 桁を表示する下位桁表示部 403 とを備えている。

- 10 図 18 は上位桁表示部 402 の詳細な構成を示す側面図である。

- 図 18 において、上位桁表示部 402 は、ロータ 100A を介して圧電アクチュエータ 10 に連結されており、ロータ 100A の駆動力によって駆動される。上位桁表示部 402 の主要部は、送り爪 402A1 を有し、ロータ 100A が 1/n 回転すると 1 回転する駆動ギア 402A と、駆動ギア 402A の 1 回転で 1
15 目盛分回転する第 1 上位桁表示車 402B と、第 1 上位桁表示車 402B の 1 回転で 1 目盛分回転する第 2 上位桁表示車 402C と、第 1 上位桁表示車 402B の非回転時に第 1 上位桁表示車 402B を固定する固定部材 402D とを備えている。なお、第 2 上位桁表示車 402B についても、第 2 上位桁表示車 402C を固定する図示しない固定部材が設けられている。

- 20 駆動ギア 402A は、ロータ 100A が 1/n 回転すると 1 回転する。そして送り爪 402A1 は、第 1 上位桁表示車 402B の送りギア部 402B3 に噛合しており、第 1 上位桁表示車 402B は 1 目盛分回転することとなる。さらに、第 1 上位桁表示車 402B が回転し、1 回転すると、第 1 上位桁表示車 402B に設けられている送りピン 402B1 が送りギア 402B2 を回転させ、送りギ
25 ア 402B2 が噛合している第 2 上位桁表示車 402C の送りギア 402C1 を回転させ、第 2 上位桁表示車 402C を 1 目盛分回転させることとなる。

図 19 は下位桁表示部 403 の詳細な構成を示す側面図であり、図 20 は下位桁表示部 403 の詳細な構成を示す正面図である。

図 19 及び図 20 において、下位桁表示部 403 は、ロータ 100B を介して

圧電アクチュエータ 10 に連結されており、ロータ 100B の駆動力によって駆動される。下位桁表示部 403 の主要部は、送り爪 403A1 を有しロータ 100B が $1/n$ 回転すると 1 回転する駆動ギア 403A と、駆動ギア 403A の 1 回転で 1 目盛分回転する第 1 下位桁表示車 403B と、第 1 下位桁表示車 403B の 1 回転で 1 目盛分回転する第 2 下位桁表示車 403C とを備えている。

第 1 下位桁表示車 403B は、駆動ギア 403A の送り爪 403A1 に噛合する送りギア部 403B1 を有しており、駆動ギア 403A の 1 回転で 1 目盛分回転する。そして、第 1 下位桁表示車 403B には、送りピン 403B2 が設けられており、第 1 下位桁表示車 403B が 1 回転する毎に、送りギア 403B を回転させ、第 2 下位桁表示車 403C を 1 目盛分回転させる。この場合において、第 1 下位桁表示車 403B の固定部材 403D は、非回転時に送りギア部 403B1 に噛合して第 1 下位桁表示車 403B を固定する。

第 2 下位桁表示車 403C の固定部材 403E は、第 2 下位桁表示車 403C の非回転時に送りギア部 403F に噛合して第 2 下位桁表示車 403C を固定する。この場合において、アクチュエータ 10 は、駆動装置 50 により同期して駆動されるように設定されており、駆動装置 50 は、図示しない IC カードチップにより決済金額に相当する駆動制御信号が入力されることにより駆動されている。

第 2 実施形態の駆動装置 50 の具体的な構造は第 1 実施形態の駆動装置 50 と同じであるため、説明を省略する。

以上のような構成により、非接触 IC カードのような薄型の携帯機器においても、機械的に残金額表示を行うことができ、駆動時以外は、電源を必要とせずに、表示を行えるので、低商品電力で表示を行えると共に、電源が無くなった場合においても、それまでの表示を保持することができる。

[6. 第 2 実施形態の効果]

従って、本発明の第 2 実施形態では、第 1 実施形態の (1) ~ (10) と同様の作用効果を奏する他に、次の作用効果を奏することができる。

(12) 携帯機器を、圧電素子 17 を有する振動体 5 及びこの振動体 5 に設けられるとともに駆動対象に当接される当接部 20 を有する圧電アクチュエータ 10 と、前述の構成の圧電アクチュエータの駆動装置 50 とを備えたから、消費電力

が少なく、安定した制御が短時間で達成できる携帯機器を提供することができる。

なお、本発明は前述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれるものである。

例えば、前記各実施形態では、圧電素子 17 の 2 カ所の検出用電極 19 C、1
5 9 D で検出される縦振動と屈曲振動の検出信号から位相差を求め、この位相差に基づいて圧電アクチュエータの駆動を制御したが、本発明では、圧電素子 17 で検出される検出信号と圧電素子 17 へ出力する駆動信号との位相差を求め、この位相差に基づいて圧電アクチュエータの駆動を制御する構成としてもよい。

また、図 7 B で示される制御回路 543 では、早クロックと遅クロックとの 2
10 種類を選択して 2 段階に速度を切換可能としたが、本発明では、2 段階に切り換えるものに限定されるものではなく、3 段階あるいは 4 段階以上に切り換える構成としてもよい。

さらに、図 7 C で示される制御回路 547 では、異なる 2 つの時定数を有する
15 ループフィルタ 546 を切換可能としたが、本発明では、異なる 3 又は 4 以上の時定数を有するループフィルタ 546 を切換可能とする構成でもよい。

また、前記各実施形態では、UD カウンタ 544 を所定電圧に設定し、この所定電圧に対して電圧を加減する構成であったが、本発明では、UD カウンタ 544 を 0 からスタートしてもよい。

さらに、本発明では、制御部内の各手段等は、各種論理素子等のハードウェア
20 で構成されたものや、CPU（中央処理装置）、メモリ（記憶装置）等を備えたコンピュータを時計や携帯機器内に設け、このコンピュータに所定のプログラムやデータ（各記憶部に記憶されたデータ）を組み込んで各手段を実現させるように構成したものでもよい。

ここで、前記プログラムやデータは、時計や携帯機器内に組み込まれた RAM
25 や ROM 等のメモリに予め記憶しておけばよい。また、例えば、時計や携帯機器内のメモリに所定の制御プログラムやデータをインターネット等の通信手段や、CD-ROM、メモリカード等の記録媒体を介してインストールしてもよい。そして、メモリに記憶されたプログラムで CPU 等を動作させて、各手段を実現させればよい。なお、時計や携帯機器に所定のプログラム等をインストールするに

は、その時計や携帯機器にメモリカードやCD-ROM等を直接差し込んで行ってもよいし、これらの記憶媒体を読み取る機器を外付けで時計や携帯機器に接続してもよい。さらには、LANケーブル、電話線等を時計や携帯機器に接続して通信によってプログラム等を供給しインストールしてもよいし、無線によってプログラムを供給してインストールしてもよい。

このような記録媒体やインターネット等の通信手段で提供される制御プログラム等を時計や携帯機器に組み込めば、プログラムの変更のみで前記各発明の機能を実現できるため、工場出荷時あるいは利用者が希望する制御プログラムを選択して組み込むこともできる。この場合、プログラムの変更のみで制御形式の異なる各種の時計や携帯機器を製造できるため、部品の共通化等が図れ、バリエーション展開時の製造コストを大幅に低減できる。

また、本発明は、第1実施形態の電子時計や、第2実施形態の非接触ICカードに適用されるものに限らない。すなわち、本発明の圧電アクチュエータの駆動方法や、駆動装置を採用した電子機器としては、腕時計、置時計、柱時計等の電子時計に限らず、各種の電子機器に本発明が適用可能であり、特に小型化が要求される携帯用の電子機器に好適である。ここで、各種の電子機器としては、時計機能を備えた電話、携帯電話、パソコン、携帯情報端末(PDA)、カメラ等が例示できる。また、時計機能を備えないカメラ、デジタルカメラ、ビデオカメラ、カメラ機能付き携帯電話等の電子機器にも適用可能である。これらカメラ機能を備えた電子機器に適用する場合には、レンズの合焦機構や、ズーム機構、絞り調整機構等の駆動に本発明の駆動手段を用いることができる。さらに、計測機器のメータ指針の駆動機構や、可動玩具の駆動機構、自動車等のインパネ(instrumental panel)のメータ指針の駆動機構、圧電ブザー、プリンタのインクジェットヘッド、超音波モータ等に本発明の駆動手段を用いてもよい。

また、前記第1実施形態では、圧電アクチュエータを電子時計1の日付表示機構の駆動に用いていたが、これに限らず、電子時計1の時刻表示針(指針)の駆動に用いてもよい。このようにすれば、通常、指針を駆動するステッピングモータを圧電アクチュエータに置き換えることで、電子時計1の一層の薄型化が実現できるとともに、圧電アクチュエータがステッピングモータよりも磁性の影響を

受けにくいことから、電子時計の高耐磁化をも図ることができる。

- また、前記各実施形態では、検出信号および駆動信号間の位相差や、各検出信号間の位相差に基づいて駆動信号の周波数を制御していたが、例えば、圧電アクチュエータを駆動するドライバに抵抗を設け、圧電アクチュエータを流れる電流値の変化を、電圧値として検出することなどで、圧電アクチュエータを流れる電流値に基づいて駆動信号の周波数を制御してもよい。

さらに、複数の検出信号を検出している場合に、ある検出信号の振幅によって駆動信号の周波数の増減を制御し、他の検出信号の振幅と振幅基準値とを比較して駆動信号の周波数の増減の変化割合を制御してもよい。

- 10 また、検出信号の振幅によって駆動信号の周波数の増減を制御し、各信号の位相差や圧電アクチュエータを流れる電流値によって駆動信号の周波数の増減の変化割合を制御してもよい。

- さらに、複数の検出信号を検出している場合、予め決められた1つの検出信号の振幅を検出して駆動信号の周波数の制御を行ってもよいが、駆動直後の一定期間、各検出信号の振幅を検出して記憶し、振幅の変化が大きいほうの検出信号の振幅に基づいて周波数制御を行うようにしてもよい。この場合には、振幅の変化が大きい検出信号に基づいて制御できるので、その変化を確実に検出できて効率的な制御を行うことができる。